

INTERACCIÓN DE *Mycosphaerella fijiensis* MORELET y *M. musicola* LEACH EN SIETE GENOTIPOS DE *Musa* sp., EN UN ÁREA LÍMITE DE EXPANSIÓN DE LA SIGATOKA NEGRA EN LA ZONA CAFETERA COLOMBIANA

Martha Cecilia Aguirre Gaviria¹, Jairo Castaño Zapata²,
Jorge Alberto Valencia Montoya³, Luis Eduardo Zuluaga Arias⁴, Consuelo Arce González¹.

¹ Centro de Investigación Nataima. Corpoica A.A. 064. Espinal, Tolima-Colombia. Correo electrónico: corpoica@ibagué.cetcol.net.co

² Profesor Titular. Depto. de Fitotecnia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Caldas. A.A. 275. Manizales, Caldas-Colombia. Correo electrónico: Fitotec@emtelsa.multi.net.co

³ Grupo Multidisciplinario Plátano y Banano. Corpoica. A.A. 1069. Armenia, Quindío-Colombia. Correo electrónico: corpoarm@eccel.com

⁴ Auxiliar de Investigación Corpoica, Regional Nueve. A.A. 1287. Manizales, Caldas-Colombia. Correo electrónico: corpoica@col2.telecom.com.co

RESUMEN

Debido al desplazamiento de la Sigatoka amarilla por la Sigatoka negra a alturas superiores a 1.000 m.s.n.m., la coexistencia de *Mycosphaerella musicola* y *Mycosphaerella fijiensis* a 1.175 m de altitud, así como el reporte de la Sigatoka negra a 1.560 m.s.n.m. y por consiguiente, el peligro potencial en que está la producción de musáceas de la zona cafetera colombiana, es necesario realizar entre otras investigaciones, la evaluación del efecto de las condiciones climáticas sobre el desarrollo individual y en conjunto de los agentes causales de ambas Sigatokas en materiales con diferente factor genómico. Para el efecto, se realizó un estudio en siete genotipos de banano y plátano en el municipio de Fresno, Tolima, a 1.250 m.s.n.m. entre septiembre de 1.996 y octubre de 1.997. Se estandarizó una metodología de diagnóstico rápido y económico de *M. fijiensis* y *M. musicola* en el laboratorio, con el propósito de cuantificar el inóculo asexual de los patógenos. Las condiciones ecológicas en el sitio de estudio favorecieron el desarrollo de los patógenos en tres materiales de plátano y cuatro de banano. La reacción de cada uno de los materiales al ataque de las dos enfermedades estuvo influenciado, especialmente por la temperatura (máxima, media y mínima); el período de incubación, de evolución y desarrollo de la enfermedad; así como por el período de desarrollo de la hoja. En Mbouroukou¹, la Sigatoka negra desplazó a la Sigatoka amarilla; en Fougamou, Dominico Hartón y Guineo, la Sigatoka negra fue agresiva, presentándose épocas del año en que la Sigatoka amarilla desaparecía, con la tendencia a ser desplazada por la Sigatoka negra; en Gross Michel (Cocos), las dos Sigatokas estuvieron en franca competencia, con la tendencia de ser más agresiva la Sigatoka negra y por último, en Bocadoillo, prevaleció más la Sigatoka amarilla que la negra. La variabilidad genética de los materiales estudiados en esta investigación, influyó sobre el equilibrio final de las poblaciones de esporas de ambos patógenos.

Palabras claves: Banano, plátano, *Mycosphaerella musicola*, *Mycosphaerella fijiensis*, epidemiología

SUMMARY

Due to the displacement of the yellow Sigatoka by the black Sigatoka at altitudes higher than 1.000 meters over sea level (m.o.s.l.), the coexistence of *Mycosphaerella musicola* and *Mycosphaerella fijiensis* at 1.175 m of altitud, and the report of the presence of black Sigatoka at 1.560 m.o.s.l., and therefore, the potential risk of reducing the production of banana and plantain at the central coffee area of Colombia, is necessary to conduct, amongst ather studies, the

evaluation of the effect of the climatic conditions on the development, individually and together, of the causal agents of both Sigatocas on genotypes having different genomic factor. It was carried out a research on seven different genotypes of banana and plantain, at the municipality of Fresno, Tolima, located at 1.250 m.o.s.l. The study was conducted between september, 1996 and october, 1997. As results, it was standardized a fast and economic method of diagnosis of the anamorphs of *M. musicola* and *M. fijiensis*, under laboratory condition. The ecological conditions of the experimental site, favored the development of the pathogens on three materials of plantain and four of banana. The reaction of each genotype to the attack of both diseases was specially influenced by the temperature (maximum, medium and minimum), the incubation period, the evolution and development of the diseases, and even, by the period of development of the leaf. In Mbouroukou1, black Sigatoka displaced the yellow Sigatoka; in Fougamou, Dominico Hartón and Guineo, black Sigatoka was aggressive, but, during some periods of the year, yellow Sigatoka disappeared, with the tendency to be shifted by black Sigatoka; in Gross Michel (Cocos), both Sigatocas were in frank competency, with the tendency to be more aggressive black Sigatoka; and finally, in Bocadillo, was more prevalent yellow Sigatoka than black Sigatoka. The variability of the seven materials studied had great weight on the final equilibrium of the spores population of both pathogens.

Key words: Banana, plantain, *Mycosphaerella musicola*, *Mycosphaerella fijiensis*, epidemiology.

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades conocidas como Sigatoka amarilla (*Mycosphaerella musicola* Leach) y Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet), constituyen los problemas fitopatológicos más limitantes en la producción de musáceas a nivel mundial (Merchán, 1990).

Son muchos los estudios epidemiológicos que se han realizando en Colombia y en el mundo acerca de *M. musicola* y *M. fijiensis* en forma individual, debido a que se tenía el concepto de que la Sigatoka amarilla era más predominante a altas altitudes y que era poco probable que apareciera la Sigatoka negra debido a que siempre había tenido su mayor agresividad en zonas bajas.

Sin embargo, se presenta actualmente una situación en la cual las dos enfermedades están presentes en una franca competencia a una altura superior a 1.000 m.s.n.m., siendo muy poca la información existente del efecto del clima (a alturas mayores de 1.000 m.s.n.m.) sobre el progreso de los dos patógenos juntos en plátanos y bananos; tampoco se conocen estudios de comparación de desarrollo de *M. fijiensis* y *M. musicola* (períodos de incubación y latencia y esporulación), en condiciones naturales y difíciles de diferenciar con base en los síntomas cuando se encuentran juntos, debido a que los dos hongos causan manchas iniciales de color café, las cuales se alargan hasta formar lesiones necróticas y halos amarillos con el centro ligeramente gris (Jones y Mourichon, 1993). Estas lesiones pueden unirse y destruir grandes áreas de la hoja, lo que no permite establecer en las cultivariedades con distinto componente genómico cuál de los dos patógenos es más agresivo.

Lo anterior, sumado a los reportes existentes de la presencia de la Sigatoka negra a 1.560 m.s.n.m. (Merchán, 1996) y 1.420 m.s.n.m. (Belalcázar et al., 1994), y a que no se tiene una alternativa concreta sobre qué cultivariedad de plátano o banano de buena aceptación en el mercado es más promisoría para afrontar el problema de la Sigatoka negra, ameritó un trabajo de investigación con rigor científico, que permita aclarar por qué *M. fijiensis* está desplazando a *M.*

musicola a altas altitudes, poniendo en peligro la producción de musáceas en la zona cafetera central colombiana.

Con el propósito de contribuir a aclarar el interrogante se realizó este estudio, el cual tuvo como objetivo fundamental evaluar el efecto de las condiciones climáticas sobre el desarrollo individual y en conjunto de *M. fijiensis* y *M. musicola* en siete materiales de plátano y banano con diferente factor genómico.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en el Departamento del Tolima, a siete kilómetros del municipio de Fresno, en la vía Manizales (Caldas) - Mariquita (Tolima), en la vereda La Ceiba, finca Campoalegre, ubicada a 1.250 m.s.n.m., con una temperatura que oscila entre 18-25°C, humedad relativa entre 65-100% y una precipitación anual de 1.800 mm.

En la Tabla 1, se registran los genotipos de *Musa* sp. estudiados y se describen algunas características, respecto a su reacción a la Sigatoka negra y amarilla.

Para evaluar en campo el comportamiento de las siete cultivariedades de *Musa* sp., se utilizó el diseño estadístico de bloques completos al azar con siete tratamientos y siete repeticiones, donde los tratamientos fueron las cultivariedades de plátano Mbouroukou1, Dominico Hartón, Fougamou y los bananos Bocadillo, Cocos, Guineo y FHIA-1. La investigación se estableció en un área agroecológica donde están coevolucionando las dos Sigatokas y tiene la característica de ser una zona donde se siembra banano y plátano principalmente, cuya topografía es pendiente. Se sembraron 500 cormos en curvas a nivel, a una distancia de siembra de 1.5 x 3 m, de los cuales 147 correspondieron a los materiales evaluados y 353 a Dominico-Hartón rodeando a cada uno de los materiales para obtener una mayor presión de inóculo de los dos hongos. Por cada tratamiento se sembraron tres plantas y se evaluó la planta central. Para mejor comprensión del patosistema se realizaron evaluaciones dos veces por semana de las siguientes variables:

Tabla 1. Genotipos de *Musa* sp. estudiados y algunas características de estos materiales que forman parte de la colección Colombiana de Musáceas (CCM).

Genotipo	Nivel de resistencia a Sigatokas		Subgrupo	Genoma
	Negra	Amarilla		
Mbouroukou1	Susceptible	Susceptible	Plátano	AAB
Dominico-Hartón	Susceptible	Susceptible	Plátano	AAB
Fougamou	Parcialmente resistente	Parcialmente resistente	Plátano	ABB
Bocadillo	Parcialmente resistente	Susceptible	Banano	AA
Guineo	Susceptible	Susceptible	Banano	AAA
Gross Michel (Cocos)	Susceptible	Susceptible	Banano	AAA
FHIA-1	Resistente	Inicialmente resistente	Banano	AAAB

Fuente: Belalcázar et al., 1995; CORPOICA, 1995; Merchán, 1994, 1996; Lescot, 1997.

Variabes del hospedante: Estado de desarrollo de la hoja cigarro o candela (Escala de Brun, 1963); número total de hojas emitidas > 10 cm de ancho "NTH"; tasa de emisión foliar dos veces

por semana "TEF"; número de hojas activas (aparentemente sanas y manchadas) presentes por pseudotallo "NHA"; duración en días hasta secamiento o agobio de cada hoja "VH"; altura del pseudotallo en fecha de floración "AS"; perímetro del pseudotallo a 1 m del nivel del suelo en fecha de floración "PS"; duración en días de los períodos de siembra a floración "PSF" y de siembra a cosecha "PSC".

VARIABLES DE LA ENFERMEDAD: Estado de desarrollo de Sigatoka amarilla (cinco estados según Brun (1963) y posición en las hojas afectadas); estados de desarrollo de Sigatoka negra (seis estados según escala de E. Foure (1.989); la evolución de los estados de Sigatoka amarilla y Sigatoka negra se hizo en hojas seleccionadas desde la salida del cigarro en estado 2); índice de severidad de tejido necrosado según la escala de Stover, modificada por Gauhl (1990); y hoja más joven manchada "HMJM" (manchas en estado 4 para Sigatoka amarilla y estado 5 para Sigatoka negra).

VARIABLES DEL CLIMA: Temperatura diaria (mínima "TMI", máxima "TMX" y media "TMD"), humedad relativa diaria "HR", precipitación diaria en mm "LL", duración de la lluvia en horas "H-LL" y días con lluvia "D-LL".

Cuantificación del inóculo asexual y diagnóstico rápido de las Sigatokas negra y amarilla. Con el propósito de cuantificar el inóculo producido por el estado asexual de *Mycosphaerella fijiensis* Morelet (*Paracercospora fijiensis* (Morelet) Deighton) y *Mycosphaerella musicola* Leach (*Pseudocercospora musae* (Zimm) Deighton) en los siete genotipos en estudio, donde están coexistiendo Sigatoka negra y Sigatoka amarilla, las cuales son difícilmente diferenciadas por medio de síntomas en campo y especialmente en los genotipos Bocadillo, Guineo, Gross Michel y Dominico Hartón, se modificó la técnica de Lalancette (1984) citada por Jacome y Schuh (1993). La técnica consiste en tener un dispensador de discos de agar solidificado de 1,26 cm de diámetro. El dispensador consiste de una jeringa desechable de 5 cm³ 21G 1½, marca Precisión Glide, con el extremo posterior removido para usarla como cilindro. El dispensador es llenado con agar cristal violeta que se prepara mezclando agar bacteriológico marca Oxoid, 1.5 g; benomyl, 100 ppm; cristal violeta, 1%; estreptomycin en discos marca Oxoid, 10 Ug y agua, 100 cm³. Se añade asépticamente 15 ml de una solución acuosa estéril de cristal violeta al 1% a 100 ml de medio licuado estéril antes de dispensar en las jeringas. El disco de estreptomycin se añade al medio estéril y se deja por un minuto para luego llenar los dispensadores.

En el lote experimental los conidios de los diferentes materiales en evaluación fueron removidos presionando la superficie del agar contra un área necrosada de la hoja más joven. Luego la parte de arriba del agar fue cortado formando discos de agar-cristal violeta de 1-2 mm de espesor, los cuales fueron colocados en láminas porta-objetos que seguidamente se depositaron en bandejas que contenían papel toalla humedecido, con el propósito de formar una cámara húmeda y evitar la deshidratación de los discos de agar-cristal violeta y poderlas conservar para su posterior observación. Los conidios fueron identificados y contados directamente usando un microscopio marca Olympus (BH-2) con el objetivo 40X.

La diferenciación de los conidios de *Paracercospora fijiensis* y *Pseudocercospora musae* se hizo por el marcado hilio que presenta las esporas de *P. fijiensis* y que no se presenta *P. musae*. Además, se tuvo en cuenta la diferenciación morfológica reportada por Mateus *et al.* (1987); Belalcàzar, (1991) y Tapia, (1993).

Teniendo en cuenta el gran volumen de datos generados por el número de variables evaluadas, se procedió a adaptar un programa en computador para Sigatoka negra que utiliza la base de

datos Dbase III plus. Finalmente, a través de SAS (Statistical Análisis System) se analizó la información.

RESULTADOS

Durante el período comprendido entre el 17 de diciembre de 1.996 y 28 de octubre de 1.997, en cada planta se seleccionó para seguimiento individual, aquellas hojas que cada 3 a 5 días al emerger, presentaban el cigarro o candela en estado 2. Como consecuencia de esta selección, el número de hojas evaluadas en cada una de las 49 plantas a la cual se les llevó el registro, osciló entre 29 - 33 hojas.

Variables de crecimiento y desarrollo

En la Tabla 2, se presentan los valores promedios de las diferentes variables de crecimiento y desarrollo de los siete genotipos de musáceas estudiados.

Tabla 2. Promedios de las variables de crecimiento y desarrollo de los siete genotipos en estudio en Fresno-Tolima, a una altura de 1.250 m.s.n.m. (1.996-1.997).

Genotipo	NTH	NTHE	TEF (días)	HF	VH (días)	AS (cm)	PS (cm)	PSF (días)
Mbouroukou1 (AAB)	39	30	8	7	78	296	50	340
Fougamou (ABB)	39	31	9	11	107	360	68	361
Dominico Hartón (AAB)	40	29	9	7	77	301	59	360
FHIA-1 (AAAB)	38	29	8	13	121	284	67	339
Guineo (AAA)	37	30	9	7	75	262	57	331
Gross Michel (Cocos) (AAA)	44	33	8	8	80	289	69	380
Bocadillo (AA)	38	30	9	6	76	291	45	332

NTH:Número total de hojas emitidas

NTHE: Número total de hojas evaluadas

TEF:Tasa de emisión foliar

HF:Número de hojas activas (Hojas funcionales)

VH:Vida de la hoja (Duración en días hasta secamiento o agobie)

AS:Altura del seudotallo a fecha de floración

PS:Perímetro del seudotallo a 1m del nivel del suelo en fecha de floración

PSF:Período de siembra a floración

El número total de hojas emitidas, presentó un comportamiento variable de acuerdo al genotipo. El mayor valor lo presentó Gross Michel (Cocos) con 44 hojas en promedio, y el menor número lo tuvo el Guineo con 37 hojas. De acuerdo con un estudio epidemiológico de las dos Sigatokas, localizado a 1.175 m.s.n.m, sobre los genotipos Africa (Mbouroukou1), Bocadillo, Cocos, Dominico Hartón y Guineo, el número total de hojas emitidas fue de 37, 33, 40, 36 y 35 hojas, respectivamente (Merchán, 1996). Los resultados muestran que a 1.250 m.s.n.m, se presentó

una mayor emisión de hojas, situación que pudo deberse al tipo de semilla empleada, puesto que en el estudio realizado a 1.170 m.s.n.m. se usó semilla tradicional y a 1.250 m de altitud semilla de bolsa; sin embargo, no se puede desconocer que los factores edafoclimáticos hayan influido.

Los plátanos, Fougamou, Dominico Hartón y los bananos Guineo y bocadillo, presentaron la mayor tasa de emisión foliar con 9 días, comparados con los tres genotipos restantes que mostraron una tasa de emisión foliar menor a 9 días. En todas las variedades evaluadas se presentaron tasas de emisión foliar mínimas de 4 días y máximas de 18 días, con excepción del genotipo Bocadillo que llegó a presentar tasas hasta de 21 días.

Al momento de la floración, las variedades que presentaron más de 8 hojas funcionales, fueron Fougamou y FHIA-1 con 11 y 13 hojas, respectivamente, de las cuales, por lo menos la mitad estaban libres de Sigatoka. Las variedades Mbouroukou1, Dominico Hartón, Guineo, Cocos y Bocadillo, mostraron igual o menos de 8 hojas funcionales.

Durante todo el período vegetativo de las plantas el rango de hojas activas fluctuó de la siguiente forma: Mbouroukou1, entre 5 y 10 hojas; Fougamou, entre 6 y 14 hojas; Dominico Hartón, entre 4 y 9 hojas; FHIA-1, entre 7 y 17 hojas; Guineo, entre 4 y 9 hojas; Cocos, entre 5 y 9 hojas y Bocadillo, entre 4 y 9 hojas.

En un estudio del progreso de las dos Sigatokas en función del hospedante en tres altitudes (Merchán, 1996), se observó que a 1.175 m.s.n.m., Mbouroukou1, Bocadillo, Cocos, Dominico Hartón y Guineo produjeron en promedio 8, 9, 11, 9 y 9 hojas activas, respectivamente, superior al número de hojas activas observadas a 1.250 m.s.n.m. Esto indica que las dos enfermedades fueron más agresivas en las condiciones particulares de microclima de la finca Campoalegre, municipio de Fresno-Tolima, que en el campo experimental del Colegio Fabio Lozano Torrijos, municipio de Falan a 1.175 m de altitud, y también se puede relacionar con las condiciones físico-químicas del suelo y con el hecho de presentarse mayores temperaturas promedio por el "Fenómeno del Pacífico", los cuales disminuyeron la longevidad de las hojas por genotipo (Tabla 2), como sucedió con Dominico Hartón que a 1.250 m de altitud presentó una vida útil de las hojas de 77 días comparado con la vida útil de las hojas a 1.175 m.s.n.m. que fue de 88 días.

La altura delseudotallo a la fecha de floración, el perímetro delseudotallo a 1 m del nivel del suelo a la fecha de floración y el período desde siembra a floración de los genotipos, tuvieron un comportamiento variable. En la Tabla 2, se registra que Guineo, presentó la menor altura de plantas y el menor número de hojas emitidas, y por consiguiente, la mayor precocidad, mientras que Fougamou, se caracterizó por un comportamiento opuesto. Al comparar los resultados obtenidos en este estudio con los reportados por Merchán (1996), a 1.175 m de altitud, se observa que los genotipos Mbouroukou1, Cocos, D. Hartón y Guineo, presentaron una menor altura delseudotallo en el municipio de Falan, con excepción de Bocadillo y FHIA-1 que fueron más altos. Analizando la variable del perímetro delseudotallo, sucedió lo contrario, los siete genotipos presentaron a 1.175 m.s.n.m un menor perímetro. El período desde siembra a floración de Mbouroukou1 y Guineo, fue menor que lo reportado a 1.175 m.s.n.m., los cuales fueron de 352 días y 359 días, respectivamente. Dominico Hartón con 350 días, FHIA-1 con 314 días, Cocos con 380 días y Bocadillo con 332 días, fueron los materiales que presentaron un menor período desde siembra hasta floración a 1.175 m.s.n.m. (Merchán, 1996), comparado con lo observado en Fresno. Las altas temperaturas registradas entre el 22 de junio y el 20 de septiembre de 1997, permitieron que en Fresno, el período o ciclo de Mbouroukou1 y Guineo fuera menor a una altitud mayor que 1.175 m.

Progreso de las Sigatokas en interacción

Hoja más joven manchada. Para el registro de la hoja más joven manchada (HMJM), se tuvo en cuenta la hoja más joven con una o más manchas de Sigatoka amarilla en estado 4 "E4", ó en "E5", para el caso de Sigatoka negra. Este tipo de lesiones pueden ser reconocidas por el observador a más de 1m de distancia (Merchán, 1996).

Los valores más altos de hoja más joven manchada, indicadores de la menor intensidad (incidencia y severidad) de las Sigatokas se registran en la Tabla 3. Se observa que Fougamou y FHIA-, resistentes a la Sigatoka negra, presentaron los valores más altos con 8 y 6, respectivamente. A una altitud de 1.175 m, Fougamou mostró un promedio de 8 y FHIA-1 de 7 (Merchán, 1996). En otro estudio a 1.420 m.s.n.m., FHIA-1 presentó un promedio de 12 (Belalcázar *et al.*, 1994). Lo anterior demuestra que a 1.175 m.s.n.m. y 1.250 m de altitud, la presión de inóculo tanto de *P. fijiensis* como de *P. musae* fue similar y que a una altura de 1.420 m ésta fue menor, corroborándose que a menor altitud, menores son los valores de hoja más joven manchada (Merchán, 1996).

En las condiciones de Fresno, Tolima, a 1.250 m de altitud, el tipo de mancha dominante en FHIA-1, Gross Michel (Cocos) y Bocadillo, correspondió a Sigatoka amarilla, observándose que a comienzos del estudio la Sigatoka amarilla era dominante; sin embargo, el comportamiento con el tiempo tuvo cambios fluctuantes, dependiendo de las condiciones climáticas, especialmente en Cocos y Bocadillo. En los genotipos restantes se identificaron con dificultad síntomas avanzados de Sigatoka amarilla; sin embargo, en varias semanas, dependiendo del clima, se registró manchas de Sigatoka amarilla en Mbourokou1, Fougamou, Dominico Hartón y Guineo.

Expresión de los estados de desarrollo. En la Tabla 3, se presentan los resultados relacionados con el tiempo promedio requerido en cada genotipo para la expresión inicial de los diferentes síntomas o estados de desarrollo de las dos Sigatokas, desde el momento en que emergen las hojas.

En las condiciones experimentales, se puede apreciar como en Mbourokou1, Fougamou, Dominico Hartón, Guineo, Cocos y Bocadillo, *M. fijiensis*, tuvo la capacidad de establecerse y manifestarse a través de los tres primeros estados de evolución un poco más rápido que *M. musicola*. Como consecuencia de estas características, la competencia inicial de Sigatoka amarilla desaparece y al cabo de las nueve semanas aproximadamente, se hace más difícil reconocer los síntomas típicos de la enfermedad.

Los bananos, con excepción de FHIA-1, presentaron mayor susceptibilidad que los plátanos a la Sigatoka negra teniendo como base el período de desarrollo. Sin embargo, a 1.250 m.s.n.m., la Sigatoka amarilla continuó compitiendo fuertemente con la Sigatoka negra. En los plátanos Mbourokou1, Fougamou y Dominico Hartón, la competencia de las dos enfermedades también es muy alta, la diferencia con los bananos consiste en que el período de desarrollo de la Sigatoka negra es mayor.

Tabla 3. Promedios de la hoja más joven manchada y los estados de desarrollo de Sigatoka negra y amarilla en siete genotipos de musáceas. Fresno-Tolima, a 1.250 m.s.n.m.

Genotipo	HMJM	Sigatoka	E1	E2	E3	E4	E5
Mbouroukou1	6	Negra	25	30	39	47	47
		Amarilla	28	33	48	44	-
Fougamou	8	Negra	23	28	41	51	67
		Amarilla	25	31	59	65	-
Dominico Hartón	5	Negra	26	31	40	44	46
		Amarilla	28	33	45	52	-
FHIA-1	6	Negra	27	31	43	55	78
		Amarilla	27	33	49	52	-
Guineo	6	Negra	23	28	37	41	42
		Amarilla	25	30	43	43	-
Gross Michel (Cocos)	6	Negra	23	28	36	40	42
		Amarilla	24	29	39	42	-
Bocadillo	5	Negra	22	27	35	40	41
		Amarilla	23	28	38	43	-

Producción de conidios. La cuantificación de conidios, se hizo tomando en el campo, sobre la hoja más joven con área necrosada, improntas como se describió previamente.

Las lecturas de conidios se hicieron durante 31 semanas consecutivas en los siete genotipos en estudio. En la Tabla 4, se registra el promedio de conidios muestreados de *P. fijiensis* y *P. musae* semanalmente y su desviación estándar, el promedio de temperatura mínima y humedad relativa semanal y la precipitación acumulada por semana en el sitio de estudio. El promedio de conidios de *P. fijiensis*, osciló desde 93 conidios/cm² en la semana 38 hasta 1 conidio/cm² en las semanas 33 y 34. Para el caso de *P. musae*, el promedio osciló entre 117 conidios/cm² en la semana 38 y escasamente 1 conidio/cm² en las semanas 31, 32, 33 y 34.

Para el análisis de la información registrada se hizo la transformación logarítmica $\ln x+1$, donde, x es el número de conidios/cm², tanto para *P. fijiensis* como para *P. musae*.

El análisis de varianza correspondiente al conteo de conidios de *P. fijiensis* mostró que hay interacción significativa ($P=0.001$) entre las lecturas semanales y los genotipos, es decir, hubo respuesta de los genotipos a la variación semanal de las condiciones climáticas (temperatura mínima, humedad relativa y precipitación). El promedio general de esporas fue de 29 conidios/cm², el coeficiente de determinación del 65% y el coeficiente de variación del 43.3%, considerándose medio y aceptable para esta variable. La Figura 1, muestra la fluctuación de la población de conidios muestreados de *P. fijiensis* durante 31 semanas en los siete genotipos evaluados, observándose la resistencia del genotipo FHIA-1, el cual, solamente entre las semanas 20 y 22 presentó un número alto de conidios/cm² para luego mantenerse constante durante las siguientes semanas. El mayor número de conidios capturados en FHIA-1, se pudo deber a la precipitación acumulada en este período que fue de 162.1 mm, como sucedió en la semana 15 cuando la precipitación acumulada fue de 160.9 mm. Además del factor climático, pudo estar influyendo la alta presión de inóculo en ese período.

Tabla 4. Promedio semanal de conidios capturados/cm² de *Paracercospora fijiensis* y *Pseudocercospora musae* en siete genotipos de musáceas afectados por Sigatoka negra y amarilla de acuerdo a temperatura mínima y precipitación, imperantes en la semana anterior al muestreo. Fresno-Tolima (febrero-septiembre de 1.997).

Semana	X conidios/cm ² de <i>Paracercospora fijiensis</i>	Desviación estándar	X conidios/cm ² de <i>Pseudocercospora musae</i>	Desviación estándar	X temperatura mínima/semana (°C)	Precipitación acumulada por semana (mm)
8	63	79.38	28	50.17	17.64	86.40
9	30	38.03	23	36.78	18.21	3.0
10	12	16.00	17	37.44	17.21	25.60
11	35	41.34	28	36.56	18.00	109.60
12	53	84.77	44	44.85	16.93	104.70
13	28	41.49	17	23.63	17.00	0.00
14	59	88.49	103	149.42	17.79	133.10
15	45	35.30	38	26.31	18.21	160.90
16	37	39.70	34	42.81	18.64	51.50
17	27	37.75	19	32.98	18.29	23.50
18	25	28.48	21	23.25	18.79	5.00
19	28	32.81	36	70.53	18.36	9.80
20	77	89.33	49	73.02	18.57	70.50
21	56	57.54	34	49.59	19.00	1.00
22	30	42.66	25	29.33	18.43	90.60
23	22	27.64	22	25.20	18.43	8.70
24	51	64.12	60	96.21	18.07	33.90
25	19	46.57	15	15.71	18.50	47.50
26	28	23.68	23	33.46	18.50	0.00
27	21	22.92	7	10.85	18.79	1.60
28	11	10.64	5	7.01	18.36	0.00
29	6	5.91	3	3.65	18.14	0.00
30	3	9.94	3	3.43	19.29	0.00
31	4	9.23	1	2.73	18.43	0.00
32	2	2.82	1	2.18	19.93	0.00
33	1	5.31	1	1.10	20.29	0.00
34	1	2.55	1	3.35	20.50	0.00
35	5	6.93	3	3.68	20.29	0.00
36	6	8.55	4	5.13	19.43	108.10
37	15	21.48	46	77.37	19.71	90.50
38	93	122.30	117	147.74	19.36	85.80

En general, durante las primeras 25 semanas de evaluación se presentaron fluctuaciones en el conteo de *P. fijiensis*; sin embargo, a partir de la semana 28, el conteo se redujo considerablemente, para luego incrementarse en la semana 37. Este comportamiento está altamente relacionado con la precipitación, de tal manera que a mayor precipitación acumulada por semana, mayor número de conidios capturados.

El análisis de varianza de conidios/cm² de *P. musae*, indica que hubo diferencias significativas (P=0.001) en la interacción genotipo por semana de evaluación, indicando que los siete genotipos responden en forma diferente según las condiciones climáticas. El promedio general de conidios fue de 27/cm², el coeficiente de determinación del 61% y el de variación del 49.9%, considerándose un valor aceptable. La Figura 2, presenta la fluctuación de la población de conidios muestreados de *P. musae* durante 31 semanas en los siete genotipos evaluados, donde

se observa la resistencia que tiene Fougamou a la Sigatoka amarilla. De la semana 27 a la 36, se registró un menor conteo de conidios debido a la ausencia de precipitación durante 67 días, la cual redujo la presión de inóculo y por consiguiente el número de esporas capturadas.

En la Tabla 5, se muestra el promedio del número de conidios capturados/cm² de *P. fijiensis* y *P. musae*. Los resultados indican que Mbouroukou1 registra el mayor número de esporas de *P. fijiensis*, con 51/cm² y Bocado el mayor número de conidios de *P. musae*, con 54/cm². Los menores registros de conidios/cm² fueron 5 y 5 de *P. fijiensis* y *P. musae* en FHIA-1 y Fougamou, respectivamente.

Relación de las variables epidemiológicas con las condiciones climáticas: temperatura mínima y precipitación

En la información obtenida de esta investigación se aprecia que la variabilidad genética de los materiales y los factores edafoclimáticos fueron igualmente favorables para que *M. fijiensis* y *M. musicola*, iniciaran simultáneamente el proceso de infección en los tres materiales de plátano y los cuatro de banano (Tabla 6). Al analizar la posición de la hoja con grado 1 (PHG1) de Sigatoka negra y/o amarilla, se puede observar que los plátanos Mbouroukou1 y Fougamou y el banano FHIA-1, presentaron en promedio un valor de 3. Con respecto a los bananos y el plátano Dominico Hartón, la posición respectiva de hoja fue de 2, lo cual significa que los síntomas de las enfermedades se observaron mucho más rápido en las plantas que presentaron valores de la posición de la hoja en grado 1 menores, situación que coincide con el grado de susceptibilidad de los materiales, con excepción de Mbouroukou1, reportado como susceptible a los dos patógenos.

Con respecto al período de evolución (P.E.E.) de los patógenos, *M. fijiensis* requirió menos tiempo que *M. musicola* en Fougamou y Dominico Hartón, mostrando que en estos materiales una estructura de reproducción de origen sexual o asexual evoluciona más rápido, no significando ésto que los materiales sean considerados susceptibles, como en el caso de Fougamou que es resistente a ambas Sigatokas.

En los bananos, los períodos de evolución de *M. musicola* siempre fueron menores o iguales con respecto a los de *M. fijiensis*; la excepción fue FHIA-1, que siendo susceptible a Sigatoka amarilla presentó un período de evolución de 28 días y resistente a Sigatoka negra, el período fue de 53 días. El período de desarrollo, que es la adición de los períodos de incubación y evolución, presentó el mismo comportamiento con respecto a los genotipos evaluados (Tabla 6).

Las observaciones en campo y en laboratorio, permitieron reconocer la presencia de las dos enfermedades en una misma hoja en cada uno de los genotipos evaluados, así como la coalescencia de síntomas avanzados de las mismas. La diferencia del comportamiento de las enfermedades con respecto al genotipo puede estar influenciado por el efecto de las condiciones ambientales que imperan en la zona. Investigaciones realizadas por Romero (1.990) citado por Tapia (1.993) y Mourichon (1.990), relacionan la temperatura mínima como factor responsable de la distribución de las dos enfermedades.

La Tabla 7, reúne los coeficientes de correlación entre las variables epidemiológicas, la temperatura mínima promedio y la precipitación acumulada semanal. Con respecto a la temperatura mínima promedio obtenida en cada genotipo estudiado, se observa que los coeficientes, aún cuando no son lo suficientemente altos en magnitud, denotan que existe una relación positiva entre la temperatura mínima promedio y los períodos de incubación y de evolución y una relación inversa con la esporulación.

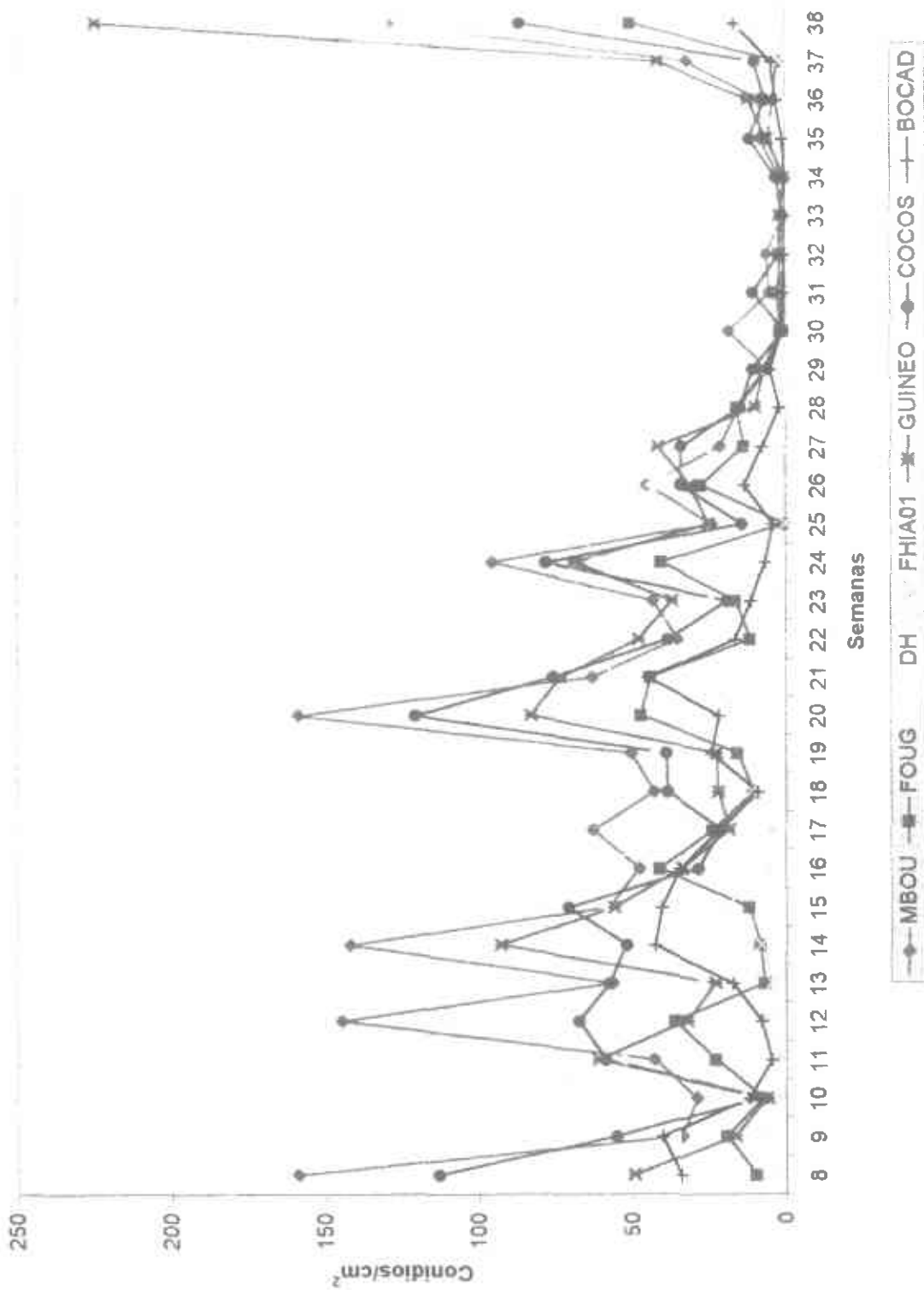


Figura 1. Fluctuación de la población de conidios muestreados de *P. fijiensis* durante 31 semanas en los siete genotipos evaluados a 1.250 m.s.n.m. (Fresno, Tolima).

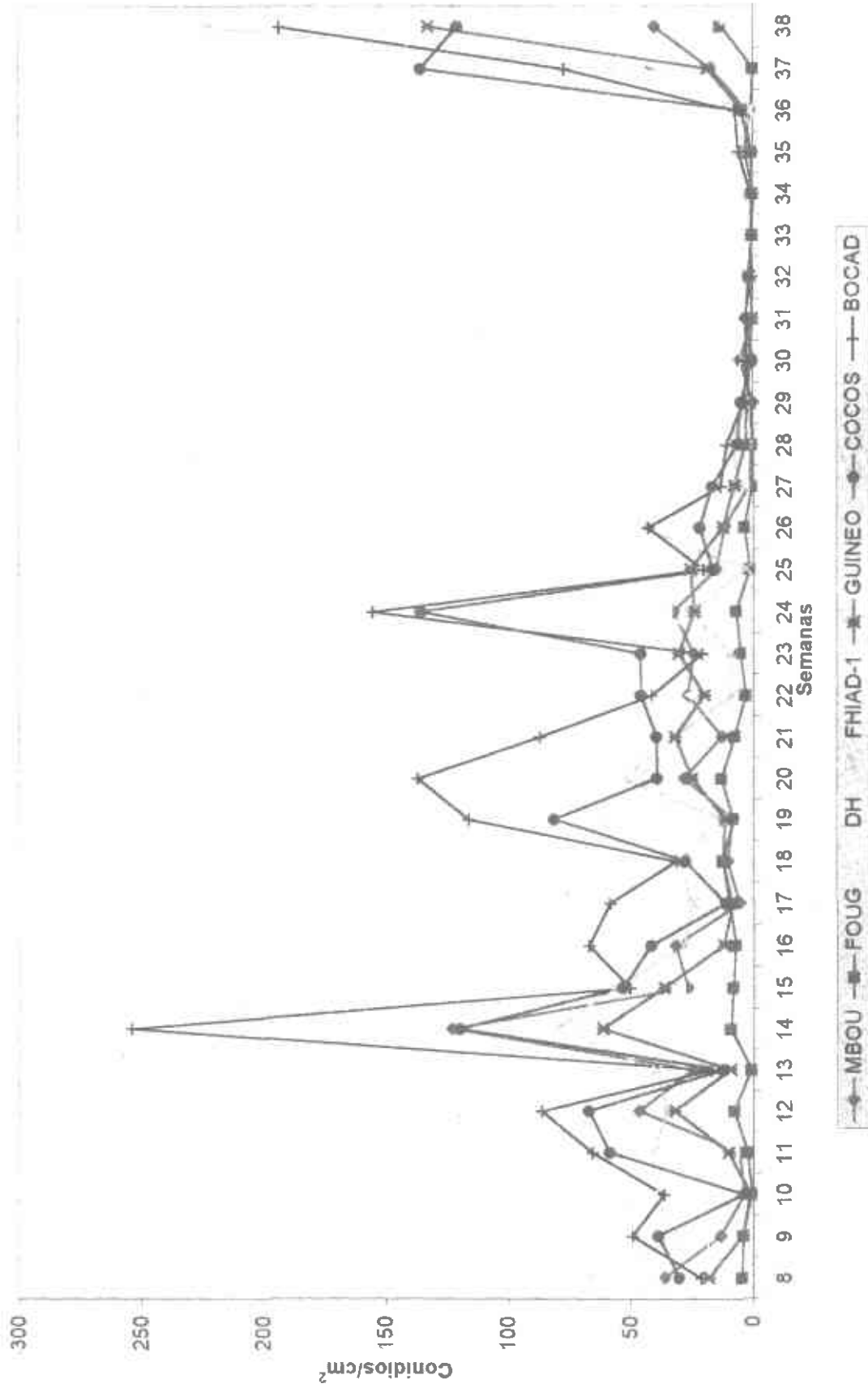


Figura 2. Fluctuación de la población de conidios muestreados de *P. musicola* durante 31 semanas en los siete genotipos evaluados a 1.250 m.s.n.m. (Fresno, Tolima)

Tabla 5. Promedio del número de conidios capturados/cm² de *Paracercospora fijiensis* y *Pseudocercospora musae* por genotipo en plantas donde están coexistiendo la Sigatoka negra y la Sigatoka amarilla. Finca Campoalegre, Vereda La Ceiba. Fresno-Tolima, a 1.250 m.s.n.m.

Variedad	Promedio			
	Conidios/cm ² de <i>Paracercospora fijiensis</i>	Desviación estándar	Conidios/cm ² de <i>Pseudocercospora musae</i>	Desviación estándar
Mbouroukou1	51	76.05	18	36.49
DominicoHartón	39	58.01	20	35.18
Gross Michel (Cocos)	38	52.01	38	70.30
Guineo	37	64.10	18	38.19
Fougamou	16	25.41	5	7.70
Bocadillo	15	26.95	54	98.33
FHIA-1	5	13.51	32	65.73

Tabla 6. Promedio de las variables epidemiológicas para las Sigatokas negra y amarilla por genotipo estudiado en Fresno - Tolima, a 1.250 m.s.n.m. (1996-1997).

GENOTIPO	SIGATOKA	P.I. (días)	P.HG1 (hoja)	P.E.E (días)	P.D (días)	PG5 y/o 4 (días)
Mbouroukou1	Negra	24	3	23	47	34
	Amarilla	27	3	23	50	34
Fougamou	Negra	22	3	42	65	43
	Amarilla	24	3	47	71	42
Dominico Hartón	Negra	24	2	23	47	34
	Amarilla	26	2	24	50	32
FHIA-1	Negra	25	3	53	78	48
	Amarilla	25	3	28	52	74
Guineo	Negra	22	2	21	43	34
	Amarilla	24	2	21	45	33
Gross Michel (Cocos)	Negra	22	2	20	42	42
	Amarilla	22	2	20	42	42
Bocadillo	Negra	21	2	20	41	38
	Amarilla	22	2	20	41	38

- P.I:** Período de incubación
P.HG1: Posición de la hoja necrosada con grado 5 de S.N y grado 4 de S.A.
P.E.E: Período de evolución (desde aparición de primeros síntomas E1-hasta estado "necrosis" E4 y/o E5)
P.D: Período de desarrollo (desde emisión de hoja hasta la aparición del último estado donde se produce inóculo asexual o sexual).
PG5 y/o 4: Período con grado 5 de SN o grado 4 de S.A. (desde que aparece la primera mancha necrótica hasta la muerte)

Si la temperatura mínima aumenta, los períodos de incubación y de evolución en los diferentes genotipos evaluados se alargan, lo cual se manifiesta en un desarrollo más lento de la enfermedad. El comportamiento es al contrario cuando se presentan bajas temperaturas mínimas promedio, donde los períodos disminuyen, reflejando consecuentemente, que la enfermedad se desarrolla más rápido que cuando hay temperaturas mínimas altas. Con respecto a la

esporulación de *M. musicola* y *M. fijiensis*, si la temperatura mínima promedio baja, la esporulación aumenta y si la temperatura mínima sube, la esporulación disminuye.

Tabla 7. Relación de las variables epidemiológicas con la temperatura mínima promedio y la precipitación acumulada semanalmente para Sigatoka negra y amarilla en los siete genotipos estudiados en Fresno-Tolima, a 1.250 m.s.n.m.

Variable	Sigatoka	Temperatura mínima promedio (°C)	Precipitación acumulada (mm)
Periodo Incubación	Amarilla	0.549 0.0001 **	- 0.489 0.0001 **
	Negra	0.312 0.0001 **	- 0.478 0.0001 **
Periodo Evolución	Amarilla	0.347 0.0001 **	- 0.249 0.0014 **
	Negra	0.219 0.002 **	-0.127 0.076 NS
Esporulación	Amarilla	- 0.283 0.0001 **	0.431 0.001 **
	Negra	- 0.150 0.039 *	0.418 0.0001 **

** Altamente significativo

* Significativo

NS= No significativo

Respecto a la precipitación acumulada, los coeficientes de correlación fueron bajos y tuvieron una relación inversa con el período de incubación y de evolución y una relación directa con la esporulación, esto significa que al aumentar el volumen de lluvia acumulada semanalmente, el período de incubación y período de evolución de la enfermedad disminuyen, haciendo más drásticas la severidad de las dos enfermedades. A menor precipitación, menor esporulación.

Análisis de componentes principales

Para tener una mejor comprensión de lo sucedido con las dos enfermedades en los siete genotipos evaluados, se realizó un análisis de componentes principales normalizado. Con este análisis se pudo concentrar la mayor parte de la variación de los datos en unos pocos componentes, lo cual facilitó el análisis de los resultados. La Tabla 8, indica que en Sigatoka negra cinco componentes principales están explicando el 83.8% de la variación total; el primer componente, lo conforman el período de evolución de la enfermedad, período de desarrollo y el período de desarrollo de la hoja, explicando el 26.9% de la varianza; el segundo componente, lo conforman la temperatura media, temperatura máxima y la temperatura mínima y explica el 26.8% de la varianza; el tercer componente, conformado por la tasa de emisión foliar y la humedad relativa, explicando el 12%; el cuarto componente, conformado por la precipitación y el período con grado 5 de Sigatoka negra explicando menos del 10% de la varianza, y el quinto componente, conformado por el período de incubación y la esporulación, explicando el 8.2% de la variación.

Estos resultados indican que para la presencia de Sigatoka negra en los siete genotipos, fue muy importante la velocidad o tiempo que requiere *M. fijiensis* para cumplir su ciclo en cada uno de los materiales de acuerdo a su grado de susceptibilidad, siendo de igual importancia las condiciones climáticas para el desarrollo de la enfermedad. Las variables de tasa de emisión foliar, humedad relativa, precipitación, período con grado 5, período de incubación y población de conidios, también tuvieron una función relevante; sin embargo, otros factores no tenidos en

cuenta para este análisis, como las variables de crecimiento y desarrollo de los genotipos, probablemente están explicando el 16.2% de la varianza que no explican los cinco componentes mencionados.

Tabla 8. Contribución de cada uno de los componentes a la varianza que determinan la presencia de Sigatoka negra y Sigatoka amarilla en los siete genotipos estudiados en Fresno-Tolima, a 1.250 m.s.n.m.

Sigatoka	Componentes		Proporción	Porcentaje
	No.	Descripción		
Negra	1	PEE, PED, PDH	0.269	0.269
	2	TMD, TMX, TMI	0.268	0.537
	3	TEF, HR	0.120	0.657
	4	PPT, PG5	0.099	0.756
	5	PI, CON	0.082	0.838
Amarilla	1	TMD, TMX, TMI	0.263	0.263
	2	PI, PEE, PED, PDH	0.211	0.474
	3	HR, TEF	0.138	0.612
	4	PG4, CON	0.121	0.734
	5	PPT	0.096	0.830

PEE: Período de evolución
 PED: Período de desarrollo
 PDH: Período de desarrollo de la hoja
 TMD: Temperatura media
 TMI: Temperatura mínima
 PG5: Período con grado 5 de Sigatoka negra

TEF: Tasa de emisión foliar
 HR: Humedad relativa
 PPT: Precipitación
 TMX: Temperatura máxima
 PI: Período de incubación
 CON: Conidios

Para Sigatoka amarilla, los primeros cinco componentes explican el 83% de la variación total. El primer componente, conformado por la temperatura media, temperatura máxima y temperatura mínima, explican el 26.3% de la varianza, siendo éste el de mayor contribución; el segundo componente, conformado por los períodos de incubación y evolución de la enfermedad y por el período de desarrollo de la hoja, contribuyó con el 21,1% de la varianza; el tercer componente, compuesto por la tasa de emisión foliar y la humedad relativa explica el 13.8% de la varianza; el cuarto componente, conformado por el período en grado 4 de Sigatoka amarilla y conidios explica el 12.1% de la varianza y el quinto componente, sólo lo constituye la precipitación explicando el 9.6% de la varianza (Tabla 8).

El desarrollo de *M. musicola*, en los siete genotipos evaluados fue influenciado principalmente por la temperatura; el factor precipitación, no mostró una función relevante. La velocidad de desarrollo del patógeno tuvo importancia, pero con una proporción menor a la presentada por el primer componente. Al igual que en Sigatoka negra, es probable que el 17% que no está incluido en los cinco componentes, se relacione con variables no tenidas en cuenta en este análisis.

Análisis de la interacción de las enfermedades

El estudio epidemiológico de las enfermedades muestra un comportamiento diferencial entre las dos enfermedades de acuerdo con el genotipo. Como se mencionó anteriormente, en el análisis de correlación y de componentes principales, los factores climáticos, en especial la temperatura mínima y la precipitación, se relacionan con la duración del período de incubación y período de evolución, como también con la esporulación de los patógenos.

Con el propósito de evaluar, cuál enfermedad predominó sobre la otra y cuál es la estabilidad de los patógenos debido a las condiciones climáticas favorables en el área de estudio, se evaluó cada genotipo haciendo un análisis de la relación (ratio) del valor del período de incubación, período de evolución y la cantidad de conidios muestreados de *M. fijiensis* sobre *M. musicola*, comparados con la temperatura mínima promedio semanal y la precipitación acumulada por semana.

La relación del período de incubación de cada uno de los genotipos, se obtuvo dividiendo los promedios semanales del período de incubación de *M. fijiensis* sobre los promedios semanales del período de incubación de *M. musicola* de cada genotipo. Las relaciones de período de evolución y de conidios capturados, se hizo de la misma forma que con los valores del período de incubación para todos los materiales en estudio.

Información climática. En cada una de las Figuras de la 3 a la 9, se presenta, el registro semanal de los factores climáticos de precipitación y temperatura mínima, desde el 16 de diciembre de 1.996 hasta el 30 de septiembre de 1.997.

Precipitación: En el mes de diciembre se registró un acumulado de 161.8 mm a partir del día 16. Enero, febrero, marzo y abril, fueron los meses de abundante lluvia, con 351.4 mm, 256.2 mm, 239.8 mm y 374 mm, respectivamente; mayo y junio, fueron los menos lluviosos, registrando 171.8 mm y 91.7 mm; y julio y agosto, fueron meses totalmente secos.

De la semana 51 en el mes de diciembre de 1996 a la semana 25 en el mes de junio de 1.997, la precipitación sufrió fluctuaciones, en general, varió entre 1.6 mm y 160 mm por semana, mínimo con dos días de lluvia por semana.

Temperatura mínima: Los registros se iniciaron en el mes de diciembre de 1.996 con un promedio de temperatura mínima de 18.05°C, luego en el mes de enero de 1.997, disminuyó a 16.8°C y a partir del mes de febrero inició su ascenso hasta el mes de agosto, con incrementos entre 0.55 y 1.0°C, hasta alcanzar la máxima temperatura mínima de 20.5°C en la semana 34, correspondiente al mes de agosto.

Relación del período de incubación, período de evolución y conidios capturados en Mbouroukou1. El período de incubación de *M. fijiensis* fue igual o menor que el de *M. musicola*; la diferencia osciló entre 0 y 11 días, en las semanas 13 y 31, respectivamente. La Figura 3, muestra la relación del período de incubación de *M. fijiensis* sobre *M. musicola*. La velocidad con la que aparecieron los síntomas de Sigatoka negra se incrementó, especialmente en las semanas 2, 19 y 31, cuando los períodos de incubación de *M. fijiensis*/*M. musicola* fueron 21/26, 22/27 y 36/47, respectivamente. Los resultados indican que Sigatoka negra tiende a disminuir su período de incubación con respecto al de *M. musicola* cuando la temperatura mínima oscila entre 17.21 y 18.43 °C y está precedida por un período de lluvia de 12-16 semanas bien distribuido, superior a 200 mm y que además se encuentren coexistiendo los dos patógenos.

En la Figura 3, se observa que la relación del período de evolución de *M. fijiensis* sobre *M. musicola*, sólo fue posible definirla hasta la semana 9, debido a que en las semanas siguientes no se visualizó el estado de evolución E4 de Sigatoka amarilla. El período de evolución de *M. musicola*, osciló entre 17 y 35 días. El anterior análisis muestra que Sigatoka negra hasta la semana 9 de 1.997 coexistió con la Sigatoka amarilla. A partir de la semana 30, se dificultó identificar el estado de evolución E3 y después de la semana 34 el estado de evolución E2 de Sigatoka amarilla debido a la agresividad de la Sigatoka negra que la desplazó. Es probable que el aumento continuo de la temperatura mínima por encima de 18.25°C a partir de los 49 días

después de la semana 9, inhibió el desarrollo del estado de evolución E4 de Sigatoka amarilla, como también pudo influir la edad de la planta.

La relación del número de esporas muestreadas de *P. fijiensis* sobre el número de esporas de *P. musae* fluctuó en forma continua. La relación registró valores entre 1.15 en la semana 14 y 12.88 en la semana 29. Los valores indican que durante todo el muestreo se capturó más conidios de *P. fijiensis* y que los valores más altos representados por cinco picos en la curva tienen relación con épocas secas, con excepción en la semana 11.

En síntesis, en el genotipo Mbouroukou1 predominó la Sigatoka negra sobre la Sigatoka amarilla, corroborando su susceptibilidad a la primera.

Relación del período de incubación, período de evolución y conidios capturados en el genotipo Fougamou. La relación del período de incubación osciló entre 1.0 y 0.72, indicando que siempre *M. fijiensis* presentó igual o menor período de incubación que *M. musicola* (Figura 4). Durante las 32 semanas evaluadas, se observó que las condiciones climáticas fueron favorables cada 2-5 semanas para incrementar la velocidad de aparición de los síntomas de Sigatoka amarilla en forma intermitente con los de Sigatoka negra. A partir de la semana 28, el período de incubación de *M. fijiensis* disminuyó en forma significativa por las altas temperaturas y la falta de lluvia, presentándose posiblemente mayor presión de inóculo del patógeno en la época de sequía.

En este genotipo reportado como parcialmente resistente a Sigatoka negra y a Sigatoka amarilla, se observó que los períodos de evolución de *M. fijiensis* y *M. musicola*, fluctuaron durante 25 semanas. En las semanas 7, 12 y 19 no se visualizó en las hojas evaluadas el estado de evolución E4 de *M. musicola*, debido a la mayor velocidad que mostró la Sigatoka negra para necrosar el tejido; por consiguiente, para esas semanas no se registró el valor de Sigatoka negra sobre amarilla (Figura 4). Los períodos donde no existe la relación se caracterizaron por presentar cambios de bajas temperaturas mínimas a altas temperaturas mínimas, en aproximadamente 0.78°C.

El promedio de plantas evaluadas a partir de la semana 22, mostró que ninguno de los puntos marcados para hacer el seguimiento de la Sigatoka amarilla llegó al estado E4 de evolución; los resultados indican que ocho semanas después (semana 30), no fue posible identificar el estado E3 de *M. musicola*.

En el genotipo Fougamou, por lo general se capturó semanalmente mayor número de conidios de *P. fijiensis* que de *P. musae*, con excepción de las semanas 18, 25 y 30, en que se capturó mayor número de esporas de *P. musae* (Figura 4), con promedios de 13, 2 y 4 conidios/cm², respectivamente.

M. fijiensis predominó en este genotipo; sin embargo, *M. musicola* estuvo en franca competencia. El comportamiento del material fue en síntesis de resistencia a los dos patógenos, debido a que fue el genotipo que presentó el mayor número de hojas funcionales con 11 y el más alto valor de hoja más joven manchada con un promedio de 8.

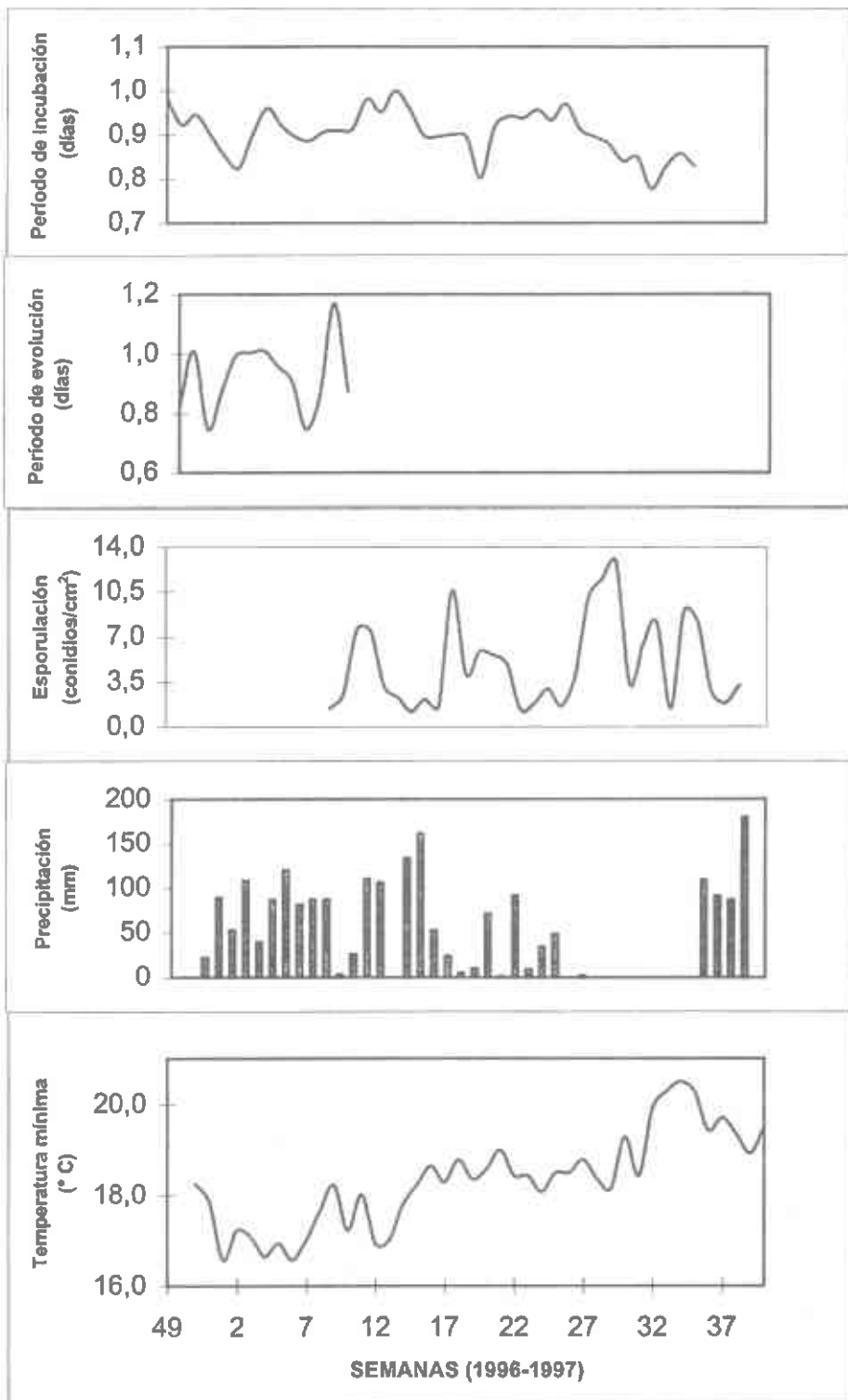


Figura 3. Fluctuación semanal de la relación de los valores del período de incubación, período de evolución y de la cantidad de conidios muestreados de *P. fijiensis* sobre *P. musae* en el genotipo Mbouroukou1, de acuerdo a la precipitación y temperatura mínima en Fresno, Tolima a 1.250 m.s.n.m.

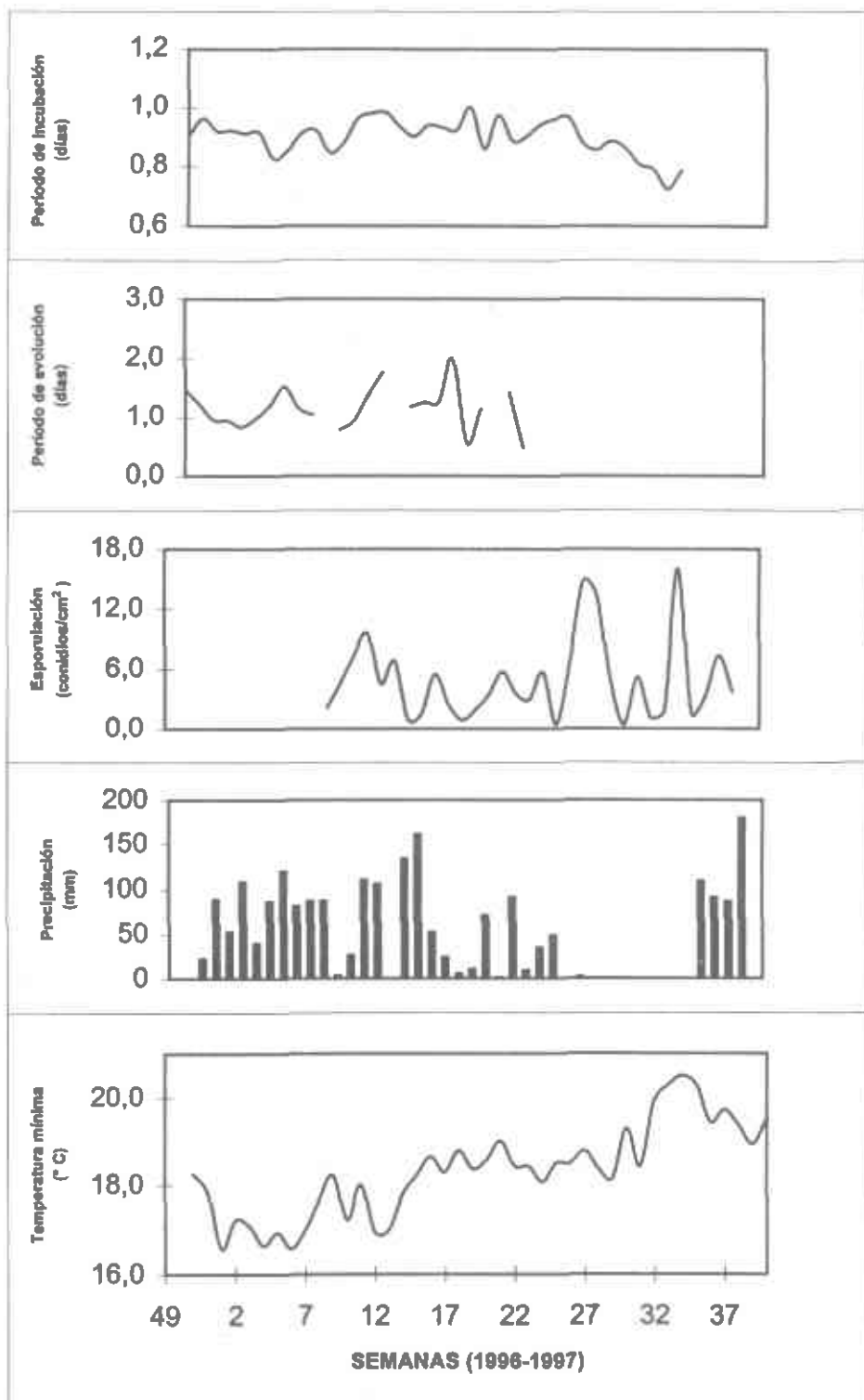


Figura 4. Fluctuación semanal de la relación de los valores del período de incubación, período de evolución y de la cantidad de conidios muestreados de *P. fijiensis* sobre *P. musae* en el genotipo Fougamou, de acuerdo a la precipitación y temperatura mínima en Fresno, Tolima a 1.250 m.s.n.m.

Relación del período de incubación, período de evolución y conidios capturados en Dominico Hartón. En este genotipo la relación del período de incubación, fue igual o menor a uno. La Figura 5, muestra la tendencia que tiene *M. fijiensis* a disminuir su período de incubación. En las semanas 49 y 51 de 1.996 el período de incubación de *M. fijiensis* y *M. musicola* fueron iguales con 22 y 21 días, respectivamente, lo mismo sucedió en las semanas 12, 19, 22 y 33 de 1.997 con 27, 23, 26 y 35 días de período de incubación, respectivamente. La tendencia de *M. fijiensis* en este genotipo es a disminuir el período de incubación y por consiguiente a desplazar a Sigatoka amarilla, especialmente cuando disminuye la precipitación y aumenta la temperatura mínima.

Con respecto a la relación del período de evolución, los sitios donde se interrumpe la curva de la Figura 5, está indicando que para el promedio de plantas evaluadas en las semanas 12 y 17 y después de la 22, la evolución de *M. musicola*, no llegó al estado E4. Al cabo de siete semanas, después de la semana 29, tampoco fue posible visualizar el estado E3 de la enfermedad. El período de evolución de *M. fijiensis*, registrado durante 26 semanas osciló entre 16 y 37 días y el de *M. musicola*, registrado durante 21 semanas, osciló entre 17 y 90 días.

Al hacer la relación del número de esporas capturadas en Dominico Hartón, se observó que en cuatro de las 31 semanas de evaluación, se capturaron más esporas de *P. musae* que de *P. fijiensis* (Figura 5). Las relaciones en esas ocasiones fueron 15/31, 68/69,1/2 y 12/13. Sin embargo, en este material la mayor tendencia de producción de inóculo la tiene *P. fijiensis*. En el plátano Dominico Hartón, la Sigatoka negra y la Sigatoka amarilla, coexistieron durante el período de estudio, siendo las condiciones climáticas del sitio experimental favorables para el desarrollo y ataque de la Sigatoka negra.

Relación del período de incubación, período de evolución y conidios capturados en FHIA-1. Al contrario de lo sucedido con la relación del período de incubación en los genotipos de plátano, en el banano FHIA-1, fueron mayores o iguales a 1 (Figura 6). Durante 22 semanas de las 33 evaluadas, el período de incubación de *M. musicola* fue menor que el de *M. fijiensis*, indicando que el período de incubación de Sigatoka negra fue tan prolongado que se manifestó su resistencia a Sigatoka negra en ese período. A partir de la semana 17, se vio la tendencia a disminuir el período de incubación de *M. fijiensis*, concordando con la disminución de las lluvias y el inicio de un período de 67 días de sequía. La tendencia de Sigatoka negra en este genotipo es a ser más agresiva en el área de estudio.

En la Figura 6, se observa que la relación del período de evolución siempre está por encima de 1, indicando que el período de evolución de *M. musicola* siempre es menor, mostrando susceptibilidad a la Sigatoka amarilla. El período de evolución de *M. musicola*, osciló entre 15 días en la semana 49 de 1.996 y 48 días en la semana 23 de 1.997, notándose un ligero incremento en las últimas tres semanas. El período de evolución de *M. fijiensis* fluctuó entre 38 días en la semana 49 de 1.996 y 60 en la semana 23 de 1.997.

La mayor cantidad de esporas muestreadas en este genotipo fueron de *P. musae*; sin embargo, en las semanas 31 y 33, se presentaron las excepciones (Figura 6). El promedio por semana de conidios de *P. fijiensis* fue menor a 1 en la semana 25 y 32 en la semana 21; en el caso de *P. musae*, el promedio semanal osciló entre 223 en la semana 38 y valores inferiores a 1 en la semana 31 de 1.997.

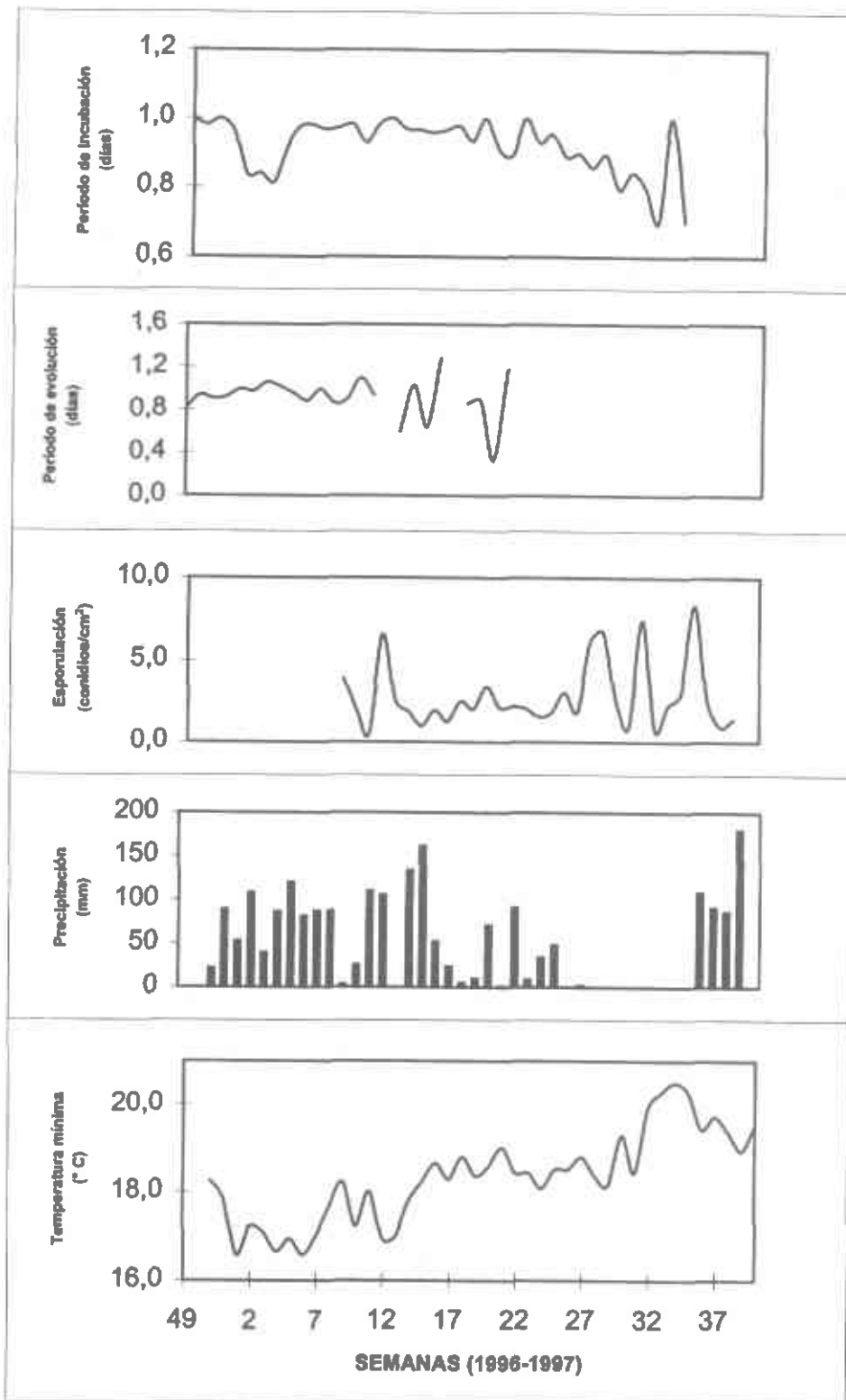


Figura 5. Fluctuación semanal de la relación de los valores del período de incubación, período de evolución y de la cantidad de conidios muestreados de *P. fijiensis* sobre *P. musae* en el genotipo Dominico Hartón, de acuerdo a la precipitación y temperatura mínima en Fresno, Tolima a 1.250 m.s.n.m.

Es importante anotar que entre las semanas 27 y 36 disminuyó la esporulación de *M. musicola*, época donde las temperaturas mínimas presentaron sus más altos valores (20.5°C) y no hubo lluvia.

Relación del período de incubación, período de evolución y conidios capturados en Guineo. El período de incubación de *M. fijiensis* en este genotipo osciló entre 16 y 37 días y el de *M. musicola* entre 18 y 44 días, siendo siempre mayor o igual el período de incubación de *M. musicola* con respecto a *M. fijiensis*; por esta razón, las relaciones durante todas las semanas de evaluación fueron iguales o menores a 1 (Figura 7). La tendencia en la interacción de las enfermedades es a presentarse más rápido el estado de evolución E1 de Sigatoka negra, que se ve favorecido en las semanas donde disminuye la temperatura mínima.

La relación del período de evolución fue muy fluctuante; además, presentó varias interrupciones en la curva (Figura 7), debido a que el período de evolución de *M. musicola* no se completó en las semanas 50 y 51 de 1.996 y en las semanas 13, 15 de 1.997. A partir de la semana 24, únicamente se identificaron los estados de evolución E1, E2 y E3. El período de evolución de Sigatoka negra, osciló entre 13 días en la semana 52 de 1.996 y 34 en la semana 17 de 1.997. El período de evolución de Sigatoka amarilla, estuvo entre 14 días en la semana 52 de 1.996 y 60 días en la semana 21 de 1.997. Las semanas donde se registró relaciones mayores a 1, coincidió con las épocas en que se presentaron temperaturas mínimas, menores o iguales a 18.7°C.

Guineo, registró mayor número de conidios de *P. fijiensis*, lo cual corrobora la susceptibilidad a la Sigatoka negra. Las relaciones durante las 31 semanas de evaluación oscilaron entre 0.74 en la semana 30 de 1.996 y 6 en la semana 11 de 1.997. Es probable que las condiciones de temperatura mínima en ascenso y las fluctuaciones de precipitación hayan contribuido a la mayor esporulación de *M. fijiensis*.

Relación del período de incubación, período de evolución y conidios capturados en Gross Michel (Cocos). La tendencia del período de incubación de *M. fijiensis* como la de *M. musicola*, fue a ser igual. La relación osciló entre 0.83 y 1.03 (Figura 8). Las semanas 2, 3 y 17 presentaron las relaciones más bajas, precedidos por un período de lluvia alta. Es probable que este factor haya incidido en disminuir el período de incubación de *M. fijiensis*. Al final del período evaluado (semana 32), la tendencia del período de incubación de *M. musicola* y *M. fijiensis* fue al equilibrio.

En la Figura 8, se observa que la relación Sigatoka negra sobre Sigatoka amarilla, es fluctuante en el tiempo, por consiguiente los períodos de evolución, tanto de *M. fijiensis* como de *M. musicola* tuvieron variaciones. En 17 de las 26 semanas, el período de evolución de *M. musicola* fue menor que el de *M. fijiensis*, fluctuando entre 13 y 45 días.

Los resultados muestran que los períodos de evolución, tanto de *M. fijiensis* como de *M. musicola*, se incrementaron en más de 10 días la semana 26, esto coincide con el cese de las lluvias y el aumento de la temperatura mínima por encima de 18.5°C.

Los valores de las relaciones de esporulación mayores a 1.0 (Figura 8), significan que se capturó mayor número de esporas de *P. fijiensis* que de *P. musae*. La tendencia de este genotipo es a disminuir la producción de esporas de *P. musae*, como sucedió en ésta ocasión, que de 31 muestras, el 35% presentó mayor cantidad de esporas de este último hongo.

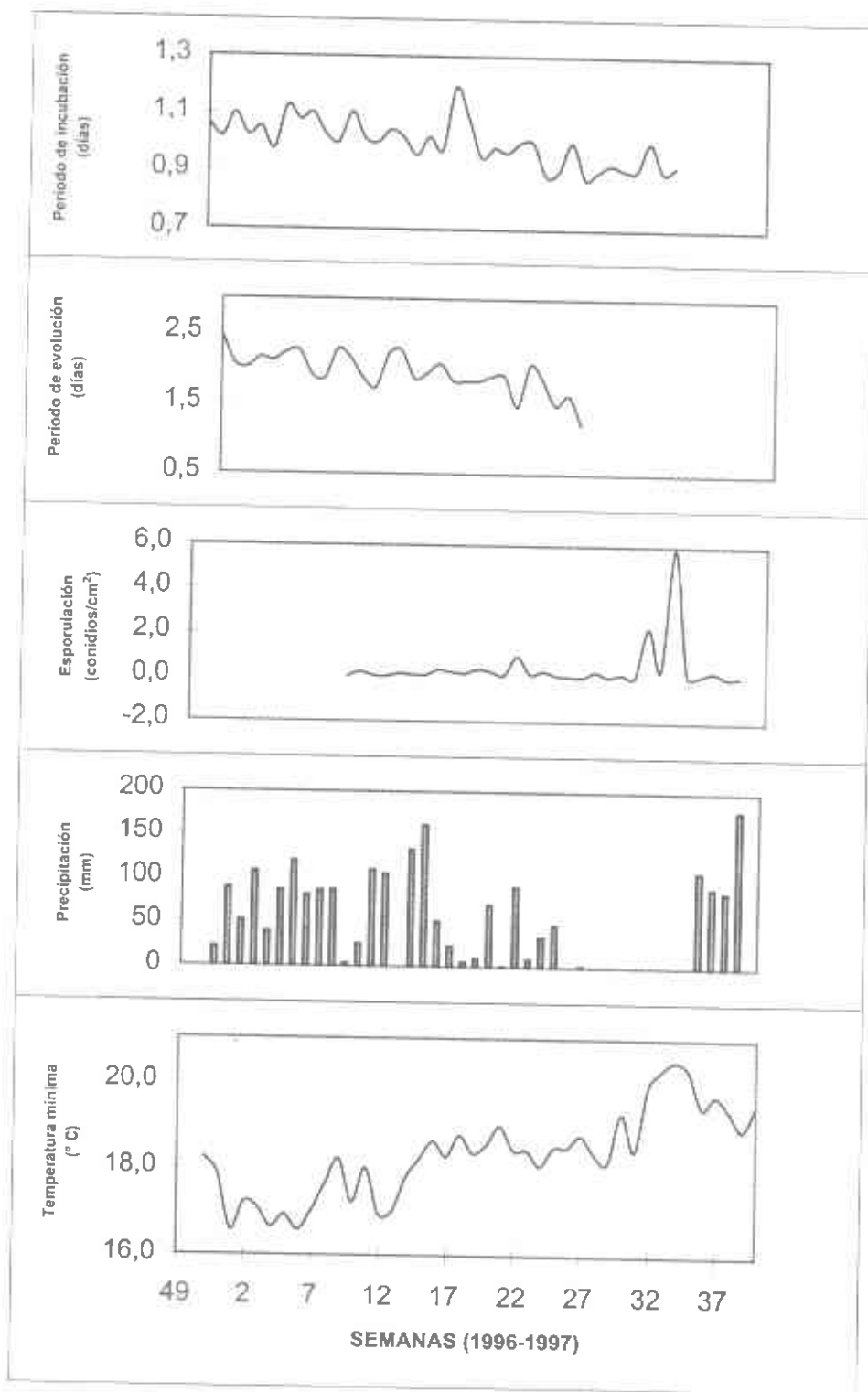


Figura 6. Fluctuación semanal de la relación de los valores del período de incubación, período de evolución y de la cantidad de conidios muestreados de *P. fijiensis* sobre *P. musae* en el genotipo FHIA-1, de acuerdo a la precipitación y temperatura mínima en Fresno, Tolima a 1.250 m.s.n.m.

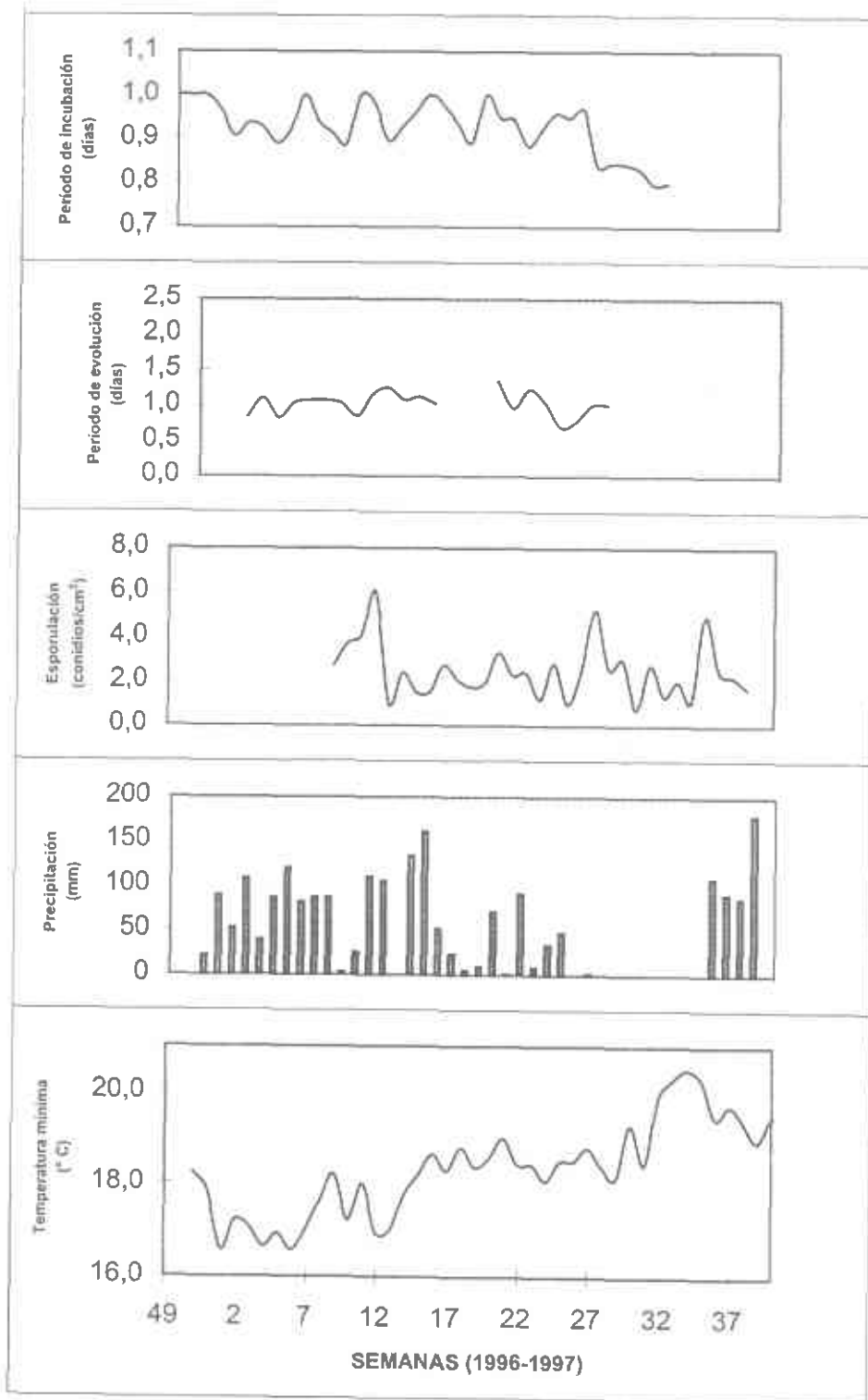


Figura 7. Fluctuación semanal de la relación de los valores del período de incubación, período de evolución y de la cantidad de conidios muestreados de *P. fijiensis* sobre *P. musae* en el genotipo Guineo, de acuerdo a la precipitación y temperatura mínima en Fresno, Tolima a 1.250 m.s.n.m.

Relación del periodo de incubación, periodo de evolución y conidios capturados en Bocadillo. Fue muy común observar en campo el estado de evolución E1 de *M. fijiensis* como de *M. musicola* al mismo tiempo; sin embargo, el periodo de incubación de *M. fijiensis* fue menor o igual al de *M. musicola*. En la Figura 9, se observa que las relaciones más bajas se presentaron en las semanas 2, 3 y 4 de 1.997, época de alta pluviosidad (232.2 mm) y temperatura mínima entre 17.21-16.64°C, favoreciendo la velocidad de expresión de síntomas de Sigatoka negra. A partir de la semana 18, hubo una marcada tendencia a igualarse el periodo de incubación de los dos patógenos, influyendo la temperatura mínima promedio de 18.5°C en esta situación.

En Bocadillo, las relaciones de periodos de evolución se presentaron en un rango de 0.85 a 1.53 y en el 75% de semanas registradas fue mayor a 1; indicando que el periodo de evolución de *M. musicola* fue menor, oscilando entre 12 y 34 días. *M. fijiensis* presentó periodos de evolución más altos, entre 14 y 36 días. En el momento en que el periodo de evolución de *M. musicola* llegó a 60 días en las semanas 26 y 27 de 1.997, el periodo de evolución E4 de *M. fijiensis* no se observó en esas mismas semanas (Figura 9).

Las condiciones climáticas fueron favorables para la Sigatoka amarilla, en especial las temperaturas mínimas entre 16.93-18.29°C, que favorecieron la disminución del periodo de evolución de *M. musicola*.

En la Figura 9, se muestra como *M. musicola* que ataca con mayor agresividad a este genotipo de banano, esporula más que *M. fijiensis*. La relación en el 9% de las semanas evaluadas fue mayor a 1, porcentaje que demuestra que en bocadillo la esporulación de *M. fijiensis* es baja.

CONCLUSIONES

- Se estandarizó una metodología de diagnóstico rápido y económico de *Mycosphaerella musicola* y *Mycosphaerella fijiensis*, agentes causales de la Sigatoka negra y amarilla, respectivamente.
- Las condiciones ecológicas de la finca Campoalegre, ubicada a 1.250 m.s.n.m., favorecieron el desarrollo de los procesos infectivos de *M. fijiensis* y *M. musicola* en los plátanos Mbouroukou1, Fougamou y Dominico Hartón; como también en los bananos FHIA-1, Gross Michel (Cocos), Guineo y Bocadillo.
- Debido a las condiciones edafoclimáticas del área experimental, el comportamiento agronómico de los siete genotipos estudiados presentó variaciones con respecto a las variables de crecimiento y desarrollo, en especial, comparado con los resultados reportados a 1.175 m de altitud.
- La reacción de cada uno de los materiales al ataque de Sigatoka negra y amarilla estuvo influenciado por el medio ambiente en donde se desarrollaron las plantas. Esto se pudo observar en FHIA-1 y bocadillo; el primero de los cuales considerado resistente a Sigatoka negra e inicialmente resistente a Sigatoka amarilla, fue susceptible a esta última enfermedad y corroboró su resistencia a Sigatoka negra. Con respecto a Bocadillo, reportado como parcialmente resistente a Sigatoka negra y susceptible a Sigatoka amarilla, fue igualmente susceptible a Sigatoka negra como a Amarilla, observándose una alta competencia entre las dos enfermedades.

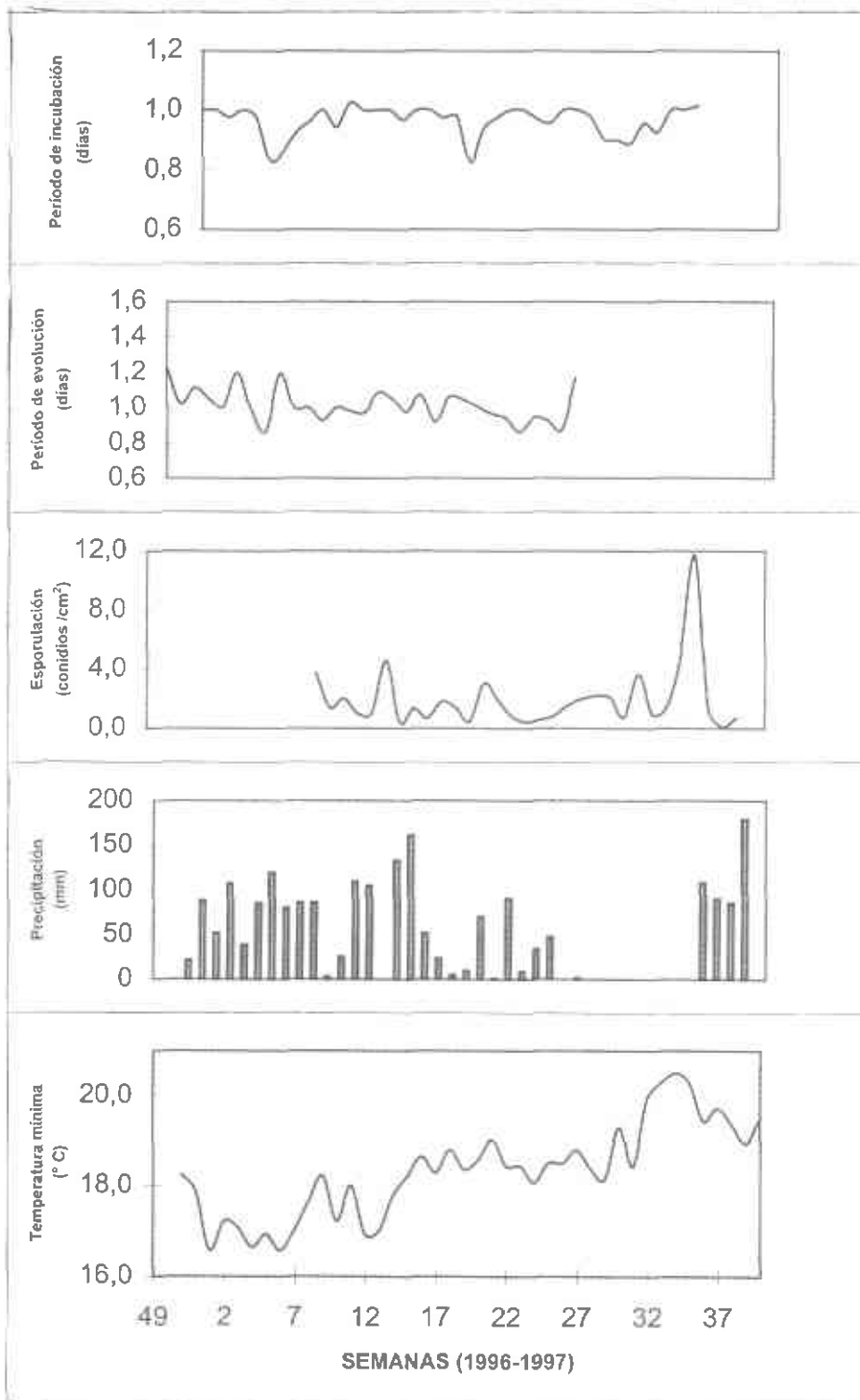


Figura 8. Fluctuación semanal de la relación de los valores del período de incubación, período de evolución y de la cantidad de conidios muestreados de *P. fijiensis* sobre *P. musae* en el genotipo Gross Michel (Cocos), de acuerdo a la precipitación y temperatura mínima en Fresno, Tolima a 1.250 m.s.n.m.

- Las temperaturas media, máxima y mínima, así como los periodos de incubación, de evolución y desarrollo de la hoja, fueron las variables que agrupadas en dos componentes principales tenían mayor peso y contribuyeron a la presencia de las dos enfermedades en los siete genotipos estudiados, explicando el 50% de la varianza. La explicación del 33%, lo constituyeron las variables de humedad relativa, tasa de emisión foliar, precipitación y esporulación. Es probable que el 17% restante sea explicado por las variables de crecimiento y desarrollo que no fueron tenidas en cuenta en el análisis de componentes principales.
- La variabilidad de las plantas cultivadas en el experimento actuó sobre el equilibrio final de las poblaciones de los dos patógenos; el tejido susceptible, donde se desarrollaron las dos especies de hongos en forma conjunta o individual en una época del año, influyó en la liberación de inóculo de los dos patógenos en el área de estudio.
- En Mbouroukou1, la Sigatoka negra desplazó a la Sigatoka amarilla; en Fougamou, Dominico Hartón y Guineo, la Sigatoka negra fue agresiva, presentándose épocas del año en que la Sigatoka amarilla desaparecía, con la tendencia a ser desplazada por la Sigatoka negra; en Gross Michel (Cocos), las dos enfermedades estuvieron en franca competencia, con la tendencia de ser más agresiva la Sigatoka negra y en Bocadillo, prevaleció más la Sigatoka amarilla que la negra.

Agradecimientos

Los autores agradecen al convenio ICA-Corpoica-CIRAD-FLHOR, por el apoyo económico brindado para la realización del presente trabajo de investigación y a María Diva Elsa Ramírez Calderón, secretaria Corpoica - Regional Nueve, por su trabajo de digitación.

BIBLIOGRAFÍA

- BELALCÁZAR, C.S.; G.O., JARAMILLO, J.C. TORO. Aspectos agronómicos. En: El cultivo del plátano en el trópico. Manual de Asistencia Técnica No. 50. Impresora Feriva Ltda. Cali - Colombia. 1991. p.21 - 42.
- CARLIE, J., MOURICHÓN, X., GONZÁLEZ-DE LEON, D., ZAPATER, M. F. and LEBRUN, M.H. DNA restriction fragment length polymorphisms in *Mycosphaerella* species that cause banana leaf spot diseases. *Phytopathology*, Vol. 847 (7): 1994. p. 751-755.
- CASTAÑO-ZAPATA, J. y DEL RIO, L. Sigatoka del banano. En: Guía para el Diagnóstico y Control de Enfermedades en Cultivos de Importancia Económica. 3ª Edición. Zamorano Academic Press, Honduras. 1994. p. 217-218.
- DU Pont. Black and yellow Sigatoka: Improved identification and management techniques. Du pont Latin América Coral Gables, Florida. 1980. 17 p.
- FULLERTON, R. A. Sigatoka leaf diseases In: Compendium of Tropical Fruit Diseases. PLOETZ, R. C. et al. (Editors). The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota. 1994. p. 12-14.
- JACOME, L. H. and W. SCHUH. Effect of temperature on growth and conidial production *in vitro*, and comparison of infection and aggressiveness *in vivo* among isolates of *Mycosphaerella fijiensis* var. *difformis*. *Trop. Agric. (Trinidad)* Vol. 70 (1). 1992. p. 51 - 59.
- JONES, Y. y MOURICHÓN, X. Raya negra de la hoja/Sigatoka negra. Enfermedades de Musa - Hoja Divulgativa No. 2. INIBAP. 1.993. p. 2.
- JOHANSON, A. and JEGER, M. J. Use of PCR for detection of *Mycosphaerella fijiensis* and *M. musicola*, the causal agents of Sigatoka leaf spot in banana and plantain. *Mycol. Res.* Vol. 97. 1993. p. 670 - 674.
- LALANCETTE, N. Jr., RUSSO, J. M. and HICKEY, K. D. A simple device for sampling spores to monitor fungicide resistance in the field. *Phytopathology* 74 (12). 1984. p. 1.423 - 1.425.

- LEACH, R. A new form of banana leaf spot in Fiji, Black leaf streak. *World Crops*. 1.964. p. 60 - 64.
- MATEUS, G. Jorge; MAYORGA, P. Miguel; RAMÍREZ, M, Bernardo. Guía de laboratorio para el diagnóstico de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*). ICA. Pasto. 1987. p. 28.
- MEREDITH, J. L. and I. D. FIRMAN. Banana leaf spot disease. In: *Fiji Trop. Agr. (Trinidad)* 47 (2): p. 127-130. 1970.
- MERCHÁN, V. M. Epidemiología y manejo de Sigatoka en musáceas (AAA-AAB-ABB). Informe Técnico. CORPOICA. Manizales. 1990. p. 16.
- MERCHÁN, V. M. y M. C. Donato. Producción de ascosporas de *Mycosphaerella fijiensis* Morelet y *M. musicola* Leach en hojas de plátano (Musa AAB). Informe Técnico. CORPOICA. Manizales. 1991. p. 7.
- MERCHÁN, V. M. Informe de actividades convenio ICA-IRFA. CORPOICA. Manizales. 1992. p. 113.
- MERCHÁN, V. M. Progreso de la Sigatoka amarilla (Musa AAB) en plátano con diferente manejo agronómico. Informe Técnico. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Manizales. 1994a. p. 20.
- MERCHÁN, V. M. Evaluación de la Sigatoka amarilla en cuatro cultivariedades de Musáceas. Informe Técnico. CORPOICA. Manizales. 1994b. p. 14.
- MERCHÁN, V. M. Ecofisiología de los plátanos en zona de altitud de Colombia en relación con su susceptibilidad a la cercosporiosis. Informe CIRAD-FLHOR. Manizales. 1996. p. 69.
- MOURICHÓN, X. and FULLERTON, R. A. Geographical distribution of the two species *Mycosphaerella musicola* Leach (*Cercospora musae*) and *Mycosphaerella fijiensis* (*Cercospora fijiensis*), respectively agents of Sigatoka disease and black leaf streak disease in bananas and plantains. *Fruits* 45 (3). 1.990. p. 213 - 218.
- RHODES, A. A new disease in Fiji. *Commonwealth Phytopathological News*, Kew, Surrey, England. 1.964. p. 10:30-41
- STOVER, R. H. Banana plantains and abaca diseases. *Commonwealth Mycological Institute Kew, Surrey, England*. 1972. 316 p.
- Leaf Spot of bananas caused by *Mycosphaerella musicola*: Effect of temperature on germination, hyphal growth, and conidia production. *Trop. Agriculture; (Trinidad)*. Vol. 42 No. 4. 1965. p. 351 - 360.
- The effect of temperature on ascospore germ tube growth of *Mycosphaerella musicola* and *Mycosphaerella fijiensis* var. *difformis*. *Rev. Fruits* Vol. 38 No. 9.
- TAPIA, A. C. Distribución altitudinal de la Sigatoka amarilla (*Mycosphaerella musicola*) y la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en Costa Rica. Tesis para optar al grado de Magister Scientiae. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica. 1.993. 77 p.